Théorie de la surunité

Definition d'une machine surunitaire

Premier critère

Une machine surunitaire présente la caractéristique de produire en fonctionnement stable établi plus d'énergie utile en sortie que celle effectivement apportée et payée par l'opérateur. Le rapport entre ces deux énergies est par définition le coefficient de performance (COP).

$$COP = \frac{E_{util}}{E_{e\,oper}} > 1$$

Deuxième critère

Une deuxième particularité concerne l'inégalité du rapport des sommes des énergies entrante et sortante. Le coefficient COE (**C**onservation **O**f **E**nergy) traduit l'aptitude de la machine à amplifier la puissance d'entrée.

$$COE = \frac{\sum_{1}^{m} E_s}{\sum_{1}^{n} E_e} > 1$$

Cette inégalité manifeste également la violation du principe de conservation de l'énergie.

Troisième critère

Globalement sur un cycle de fonctionnement de la machine ou localement à l'échelle d'une particule microscopique en mouvement (cas des fluides), **la troisième loi de Newton n'est plus vérifiée consécutivement à une brisure de symétrie**. La contre réaction de la machine est soit atténuée (COP surunitaire limité), soit totalement annulée (COP surunitaire élevé). Si le puits de potentiel créé à l'intérieur de la machine ne nécessite pas d'apport d'énergie de l'opérateur, le COP devient infini en l'absence totale de contre réaction. Le rendement restera cependant toujours inférieur à l'unité mais cette machine peut démarrer seule.

Si l'inégalité s'applique à des variables locales, chaque terme varie en fonction de la position spatiale de la particule. En sommant le produit du torseur des efforts par le torseur cinétique sur la circulation totale de la particule, on pourra calculer les puissances globales dépensée par l'opérateur (torseur réaction + pertes du champ de potentiel stationnaire) et utile produite par la machine (torseur action du champ de potentiel - pertes induites par les chocs et le mouvement), et en définitive le coefficient de performance de la machine (COP).

$$\mathbf{P}_{e\ oper} = \mathbf{P}_{réaction} + \mathbf{P}_{pertes\ champ\ potent.} > \mathbf{P}_{action\ champ\ potent.} - \mathbf{P}_{pertes} = \mathbf{P}_{util}$$

Dans cette équation, $P_{réaction} = P_{action}$ d'après la 3ième loi de Newton. Si on suppose que la réaction est annulée du fait de la brisure de symétrie, l'équation précédente s'écrit alors:

$$\mathbf{P}_{e\ oper} = \mathbf{P}_{pertes\ champ\ potent.} < \mathbf{P}_{action\ champ\ potent.} - \mathbf{P}_{pertes} = \mathbf{P}_{util}$$

Cette inégalité provient de l'apparition d'un puits de potentiel à l'intérieur de la machine, créé par le travail fourni au démarrage par les forces extérieures et en fonctionnement pour maintenir stable le champ de potentiel, qui va permettre soit de puiser de la chaleur gratuite à l'extérieur de la machine (PAC), soit de produire un travail net positif des forces intérieures (écoulement dans le sens des potentiels croissants, rotation des pièces internes dans un sens permettant de rétablir un état stable de moindre potentiel). Le travail des forces extérieures est, dans le cas d'un design adapté de la machine, très inférieur au travail produit par le champ de potentiel interne de la machine, d'autant plus inférieur que la contre réaction est faible.

Si l'énergie additionnelle provient de l'extérieur comme dans le cas de la pompe à chaleur, le caractère surunitaire de la machine n'est pas caractérisé, dans le sens où la somme des énergies entrantes est égal à la somme des énergies sortantes.

Si l'énergie additionnelle provient du travail des forces intérieures créé par le champ de potentiel, on est dans le cas de figure du deuxième critère, sans pour autant violer le 1er principe de la thermodynamique.

On voit donc qu'il est parfaitement possible de créer une machine universelle, décriée depuis le 18ième siècle par des générations de scientifiques.

La pompe à chaleur, première machine surunitaire ?

Histoire

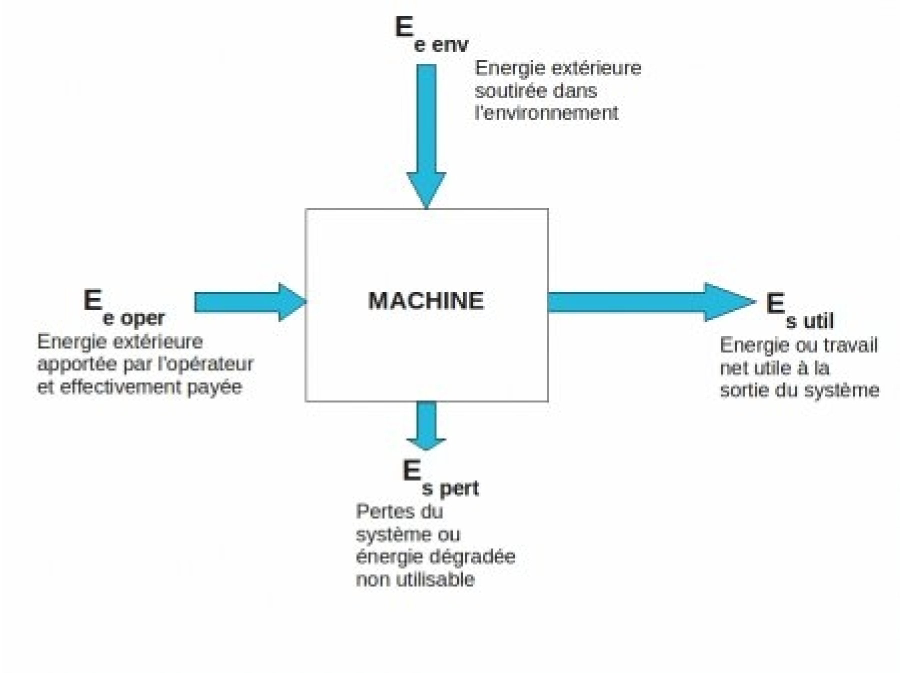
Jacob Perkins en 1834 réalise les premières machines de réfrigération avec de l'éther comme réfrigérant, ce sont les Américains qui dés 1920 s'intéressent à la climatisation. Willis Haviland Carrier invente la première machine centrifuge de réfrigération, appelée le "Weathermaker", en 1928. Le conditionneur d'air s'installe dans la vie quotidienne, les magasins, les cinémas… et l'on commence à réfléchir a la récupération de l'énergie perdue par les installations de froid commerciales (condenseur).

Mais c'est dans les années 1950 aux États-Unis que le développement de cette technique a été spectaculaire, tant dans le domaine industriel que pour les particuliers. A la fin des années 50, l'industrie automobile américaine introduit la climatisation dans ces véhicules, donnant naissance à de multiples concepts, dont la combinaison d'un système réfrigérant et d'un chauffant en 1960, ou encore le système de climatisation automatisée en 1980.

En Europe le développement a été bien moins rapide, car c'est à partir des années 1970 et le premier choc pétrolier que tout démarre... enfin par des installations ponctuelles , les incidents de fonctionnement étaient nombreux, la fiabilité du matériel n'étant pas au rendez-vous, il fallait que les constructeurs fassent leurs armes. L'expérience américaine a quand même profité à l'Europe car un grand nombre de pièces détachées provenaient des USA et c'est vers la fin des années 1970 que les fabricants offriront a leurs clients des pompes à chaleur enfin fiables, avec des coefficients de performance intéressants.

Le fonctionnement de la pompe à chaleur

La compréhension du fonctionnement d'une PAC nécessite de définir les flux d'énergie dans une machine quelconque.



En régime établi, les flux énergétiques entrant et sortant moyens, calculés sur un cycle complet, sont égaux, selon le principe de conservation de l'énergie. Il vient alors:

$$\boldsymbol{E_{s\ \mathrm{util}} + E_{s\ \mathrm{pert}} = E_{e\ \mathrm{oper}} + E_{e\ \mathrm{env}}}$$

Cette équation montre qu'il n'existe aucune énergie excédentaire apporté intrinséquement par la machine. L'énergie additionnelle à la sortie de la machine est soutirée dans l'environnement extérieur. On ne vérifie donc pas la relation suivante :

$$\mathrm{COE} = \frac{\sum_{1}^{m} E_s}{\sum_{1}^{n} E_e} > 1$$

La pompe à chaleur conventionnelle n'est pas à proprement parler "une machine surunitaire", même si elle produit plus d'énergie qu'elle n'en consomme.

Rendement de la machine

Ce paramètre définit l'importance des pertes du système, correspondant à la part de l'énergie dégradée non utilisable par l'opérateur. Ces pertes sont la source d'une polution calorifique. Le rendement est le rapport entre l'énergie sortante utile et l'énergie entrante dans la machine.

$$\eta = \frac{E_{s\ \mathrm{util}}}{E_{e\ \mathrm{oper}} + E_{e\ \mathrm{env}}} = \frac{E_{s\ \mathrm{util}}}{E_{s\ \mathrm{util}} + E_{s\ \mathrm{pert}}}$$

Le rendement de la machine diminue lorsque les pertes augmentent.

Coefficient de performance (COP)

Le coefficient de performance est la rapport en l'énergie sortante utile et l'énergie entrante effectivement payée par l'opérateur.

$$COP = \frac{E_{s\ util}}{E_{e\ oper}} = \frac{E_{s\ util}}{E_{s\ util} + E_{s\ pert} - E_{e\ env}}$$

Dans le cas où l'énergie apportée par l'opérateur n'est pas nulle ($E_{e\ oper} = 0 \Rightarrow COP = \infty$), le COP sera d'autant plus faible que les pertes de la machine seront élevées.

La pompe à chaleur sans perte, qui est une machine thermodynamique, satisfait au théorème de Carnot. Si la température de la source chaude correspondant à l'énergie utile sortante $E_{s\ util}$ est T_2 , la température de la source froide correspondant à l'énergie apportée par l'environnement T_1 , le COP théorique sans pertes s'écrit alors :

$$\boxed{COP_{carnot} = \frac{T_2}{T_2 - T_1}}$$

Exprimons les pertes en fonction du rendement et de $E_{s\ util}$:

$$E_{s\ pert} = E_{s\ util}\frac{1-\eta}{\eta}$$

D'où l'expression du COP:

$$COP = \frac{E_{s\ util}}{E_{s\ util} + E_{s\ util}\frac{1-\eta}{\eta} - E_{e\ env}} = \frac{T_2}{T_2 + T_2\frac{1-\eta}{\eta} - T_1} = \frac{T_2}{T_2 - T_1} \cdot \frac{1}{1 + \frac{T_2}{T_2 - T_1}\left[\frac{1-\eta}{\eta}\right]}$$

Soit:

$$\boxed{COP_{réel} = \frac{COP_{Carnot}}{1 + COP_{Carnot}\left[\frac{1-\eta}{\eta}\right]}}$$

Pour un COP_{Carnot} donné, le $COP_{réel}$ tend vers COP_{Carnot} lorsque le rendement tend vers 1. Lorsque le rendement se rapproche de 1, on a: $COP_{réel} = COP_{Carnot}$.

Raison de l'apparition de la surunité dans une machine

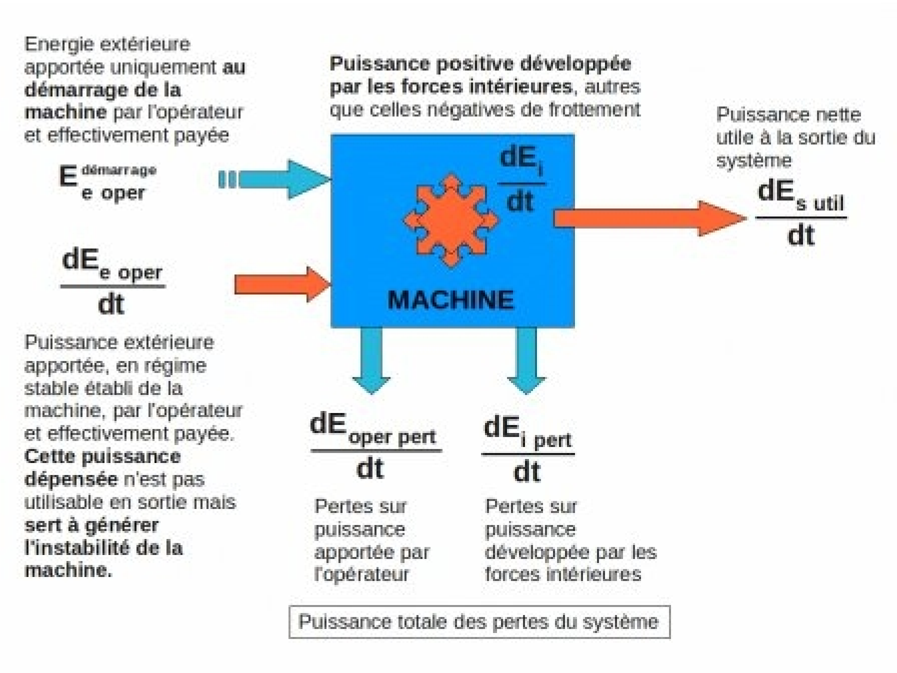
La machine n'étant plus de nature thermodynamique (par exemple mécanique, hydraulique, ou électromagnétique), nous devons définir un COP indépendamment du cycle de Carnot.

Dans ce type de machines surunitaires, **l'énergie excédentaire E_i résulte strictement du travail des forces intérieures**. Aucune énergie extérieure gratuite n'est par contre soutirée dans l'environnement, contrairement à la pompe à chaleur conventionnelle.

Ce travail excédentaire résulte d'un champ de potentiel interne à la machine (champ antagonistes de deux flux magnétiques, champ créé par la force centrifuge, champ électrique...). Ce champ de potentiel est créé par une énergie extérieure à la machine, apportée par l'opérateur. Au démarrage, il faut donc dépenser l'énergie nécessaire pour mettre en rotation les parties tournantes, charger un condensateur, créer une force extérieure qui va créer une instabilité permanente de la machine. Il suffit ensuite de compenser les pertes: frottement des paliers, fuites du condensateur pour maintenir la machine en fonctionnement. Dans le cas où l'instabilité initiale de la machine est créée par des aimants permanents ou une force qui ne travaille pas, le COP final de la machine devient infini (**$E_{e\ oper}$ =0**).

La machine surunitaire remet donc en cause **l'idée préconcue que les forces intérieures ne puissent pas produire un travail net positif** sans que l'opérateur fournisse une énergie équivalente à l'entrée. La raison de l'apparition d'un travail net positif est que **les machines surunitaires ne respectent pas la troisième loi de Newton** relative à l'égalité globale de l'action et de la réaction, du fait de la brisure de symétrie du processus de fonctionnement.

Schéma du bilan énergétique de la machine surunitaire sans contre réaction



En régime stable établi, on peut écrire :

$$\frac{dE_{e\ oper}}{dt} = \frac{dE_{oper\ pert}}{dt}$$

$$\frac{dE_{e\ oper}}{dt} \ll \frac{dE_i}{dt}$$

La première équation signifie que la puissance apportée par l'opérateur n'est pas utilisée pour produire la puissance de sortie de la machine mais uniquement pour maintenir en permanence un état d'instabilité. L'opérateur apporte dans la pratique l'énergie nécessaire pour compenser les pertes. Si l'état instable est créé par un champ de potentiel extérieur existant, comme la gravité par exemple, la puissance apportée par l'opérateur est nulle et le COP devient infini.

Le bilan énergétique est le suivant:

$$\frac{dE_{e\ oper}}{dt} - \frac{dE_{oper\ pert}}{dt} + \frac{dE_i}{dt} - \frac{dE_{i\ pert}}{dt} = \frac{dE_{s\ util}}{dt}$$

Soit compte tenu de l'égalité précédente :

$$\frac{dE_{s\ util}}{dt} = \frac{dE_i}{dt} - \frac{dE_{i\ pert}}{dt}$$

Calculons le COP

$$COP_{réel} = \frac{\frac{dE_{s\,util}}{dt}}{\frac{dE_{e\,oper}}{dt}} = \frac{\frac{dE_i}{dt} - \frac{dE_{i\,pert}}{dt}}{\frac{dE_{oper\,pert}}{dt}}$$

Remarque 1 : lorsque l'opérateur exerce un torseur d'efforts de nature à déséqulibrer la machine, mais sans consommer de puissance effective, le $\mathbf{COP_{réel}}$ de la machine devient infini.

Remarque 2 : lorsque le COP n'est pas infini mais néanmoins surunitaire, il reste toujours possible de réinjecter une partie de l'énergie produite à l'entrée, lorsque l'énergie fournie par l'opérateur est de même nature que l'énergie produite par la machine.

Calculons le rendement

$$\eta = \frac{\frac{dE_{s\,util}}{dt}}{\frac{dE_{e\,oper}}{dt} + \frac{dE_i}{dt}} = \frac{\frac{dE_i}{dt} - \frac{dE_{i\,pert}}{dt}}{\frac{dE_{e\,oper}}{dt} + \frac{dE_i}{dt}} = \frac{COP\,\frac{dE_{e\,oper}}{dt}}{\frac{dE_{e\,oper}}{dt} + \frac{dE_i}{dt}}$$

$$\eta = \frac{COP\,\frac{dE_{e\,oper}}{dt}}{\frac{dE_{e\,oper}}{dt} + \frac{dE_i}{dt}}$$

Application numérique

Considérons une machine dont le $\mathbf{COP_{réel}}$ est égal à 250, la puissance dépensée par l'opérateur égale à 1500W, le rendement $\boldsymbol{\eta}$ égal à 0,9. Supposons également que les énergies $\mathbf{E_{e\,oper}}$ et $\mathbf{E_{s\,util}}$ sont de même nature (hydraulique par exemple). Il devient alors possible de réinjecter une partie de la puissance produite par la machine à l'entrée (machine auto-entretenue).

Il vient alors:

$P_{e\,oper}$ = 1500 W

$P_{s\,util}$ = 1500 x 250 = 375 kW,

P_i = (250 x 1500 - 0,9 x 1500)/0,9 = 415,2 kW,

Pertes=415,2-375+1,5=41,7 kW.

Lorsque la machine s'auto-alimente en régime stable de fonctionnement : $P_{s\,util}$ = 375 - 1,5 = 373,5 kW.